

УДК 624.131.7

© В.І. Тимощук, Т.В. Папуша, В.Т. Головка

**ДОСВІД ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ  
МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАКІВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІІ ДОМЕННОЇ  
ПЕЧІ № 3 КОМБІНАТУ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ"**

© V. Tymoshchuk, T. Papusha, V. Golovko

**EXPERIENCE IN DETERMINING THE DEFORMATION PROPERTIES OF  
METALLURGICAL SLAGS DURING THE RECONSTRUCTION OF BLAST  
FURNACE NO. 3 TO THE COMBINE "ZAPORIZHSTAL"**

**Мета.** Обґрунтувати підходи до визначення деформаційних характеристик техногенних ґрунтів на основі застосування відомих класифікаційних принципів при оцінці стану насипних ґрунтів та використання досвіду будівництва на техногенних ґрунтах.

**Методика дослідження** полягала у встановленні деформаційних характеристик металургійних шлаків на основі залежності їх фізико-механічних властивостей від речового складу, давності відсипки, ступеня дії на насипний шар динамічних коливань. При виконанні оцінки деформаційних параметрів насипних ґрунтів, представлених металургійними шлаками, використані фактичні дані щодо експлуатації існуючих споруд на об'єктах аналогах. Перевірка несучої здатності ґрунтової основи, складеної техногенними ґрунтами, виконана із застосуванням чисельного моделювання напружено-деформованого стану ґрунтової товщі в умовах діючого осесиметричного навантаження від фундаменту кільцевого крану.

**Результати дослідження.** Визначені загальні підходи до оцінки несучої здатності ґрунтової основи, складеної насипними ґрунтами, на основі залежності їх фізико-механічних характеристик від речового складу, давності відсипки, ступеня дії на насипний шар динамічних коливань. За результатами виконаних оцінок встановлені деформаційні характеристики металургійних шлаків, які рекомендовані у якості несучого шару на ділянці монтажу кільцевого крану для реконструкції доменної печі ПРАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ". Можливість застосування дослідних характеристик фізико-механічних властивостей штучних ґрунтів у якості розрахункових підтверджена результатами модельних розрахунків несучої здатності ґрунтової основи і даними експлуатації кільцевого крану.

**Наукова новизна.** Експериментально підтверджена можливість використання деформаційних характеристик техногенних ґрунтів, встановлених на основі застосування відомих класифікаційних принципів при оцінці стану насипних ґрунтів та використання досвіду будівництва на техногенних ґрунтах.

**Практичне значення.** Результати дослідження дозволяють у разі відсутності можливості або обмежень прямої оцінки фізико-механічних характеристик насипних ґрунтів, складених металургійними шлаками, обґрунтовано підійти до встановлення їх деформаційних параметрів на основі даних перевірки несучої здатності ґрунтової основи в умовах експлуатації існуючих споруд.

**Ключові слова:** ґрунтовий масив, насипні ґрунти, металургійні шлаки, деформаційні властивості, оцінка несучої здатності

**Вступ.** Необхідність визначення деформаційних властивостей штучних ґрунтів на основі досвіду їх використання у якості основи проєктованих споруд пов'язана з низкою обмежень, що виникають на етапах проєктування та будів-

ництва. У випадку, що розглядається, це пов'язано з відсутністю можливості прямого дослідження властивостей насипного шару, представленого металургійними шлаками, в процесі виконання інженерно-геологічних вишукувань.

До таких обмежень відносяться недоступність ділянки будівництва для проведення польових досліджень, або неможливість відбору зразків непорушеної структури з наступним вивченням їх властивостей в лабораторних умовах.

У подібних випадках приймається варіант використання для розрахунків несучої здатності ґрунтової основи мінімальних значень фізико-механічних показників або передбачається виїмка техногенного ґрунту і заміна його щебеневою пошарово ущільненою подушкою. Однак, досить часто це пов'язано з необхідністю виконання значного водозниження і відведення достатньо великих об'ємів води.

В зв'язку з цим метою даної роботи є обґрунтування підходів до визначення деформаційних характеристик техногенних ґрунтів на основі застосування відомих класифікаційних принципів при оцінці стану насипних ґрунтів та використання досвіду будівництва на техногенних ґрунтах.

**Основна частина.** Обґрунтування підходів до визначення деформаційних властивостей насипних ґрунтів виконано на прикладі ділянки монтажу кільцевого крану для реконструкції доменної печі № 3 (ДП-3) комбінату ПРАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ".

Адміністративно досліджувана ділянка знаходиться в м. Запоріжжі, у промисловій зоні міста. Територія району розташовується в степовій фізико-географічній зоні у північній підзоні.

В геологічній будові ділянки до розвіданої глибини приймають участь відкладення середнього та верхнього пліоцену. Вони представлені червонувато-бурими, темно-бурими суглинками і глинами, які широко розповсюджені на досліджуваній території. Ці породи залягають в основі четвертинної лесової товщі ґрунтів, з якими зв'язані поступовим переходом.

Середньо- і верхньочетвертинні еолово-делювіальні відкладення представлені суглинками і супісками палевими, світло-палевими, макропористими, нерідко з мілкими кристалами і зростками гіпсу, карбонатними включеннями.

З денної поверхні четвертинні відклади перекриті техногенними ґрунтами – щебенем доменного і мартенівського шлаку, з суглинками твердої консистенції, з боєм цегли, потужністю до 6,2...8,0 м.

В гідрогеологічному відношенні досліджувана ділянка характеризується розвитком ґрунтового водоносного горизонту з глибиною залягання вільної поверхні води на глибині 2,0...3,5 м. Водовмісними породами в межах ділянки є насипні ґрунти з гідравлічною проникністю близько 5,0 м/доб.

Зважаючи на існуючі умови, а також обмеження, пов'язані з можливістю досконалого вивчення фізико-механічних властивостей штучних ґрунтів, виникла необхідність прийняття в якості розрахункових оптимально можливих характеристик восьмиметрового шару техногенних ґрунтів.

Одним із напрямків вирішення завдання щодо визначення розрахункових

фізико-механічних характеристик стало використання досвіду будівництва на техногенних ґрунтах, що піддалися часовим змінам їх стану під впливом різних факторів.

Протягом більш ніж 20 років (1960-1980 рр.) спеціалісти інженерно-геологічного профілю ДП "УКРДІПРОМЕЗ" виконували роботи в тісному науково-технічному співробітництві з видатним спеціалістом в галузі механіки ґрунтів професором ДІТу Гольдштейном М.Н. Під його науковим супроводом здійснювався геологічний моніторинг об'єктів будівництва, а визначальну роль у консультаціях відігравала участь вченого в оцінці несучої здатності насипних ґрунтів.

При визначенні надійності ґрунтової основи М.Н. Гольдштейном застосовувався класифікаційний принцип, який базується на залежності фізико-механічних характеристик насипного шару від трьох основних факторів: речового складу насипних ґрунтів, давності відсипки, ступеня дії на насипний шар динамічних коливань [1,2].

На досліджуваній ділянці насипний шар представлений переважно доменними шлаками, уламками залізорудної сировини, тобто матеріалами, близькими за властивостями до уламкових скельних ґрунтів магматичного походження. Згідно з наявними даними давність відсипки насипного шару складає 50 років. Протягом всього терміну ґрунти ділянки "обтискалися" важкими шлако- і чугуновозами зі знакоперемінними динамічними коливаннями від опор бункерної естакади.

Таким чином, всі три фактори мають позитивну спрямованість, що дозволило рекомендувати досить високі деформаційні характеристики та характеристики міцності насипного шару.

Слід відзначити, що рекомендовані значення деформаційних характеристик насипного шару закладалися раніше в проектні рішення по станам 120 і 220 на заводі ім. Дзержинського, рельсобалочному цеху заводу ім. Петровського та іншим об'єктам. Тобто, шляхом "зворотної задачі" ці параметри були перевірені в умовах експлуатації існуючих споруд протягом багатьох років [3].

Згідно з виконаними оцінками для товщі насипних відкладень, представлених в межах досліджуваної ділянки доменним щебенем і мартенівським шлаком, були рекомендовані значення деформаційних і міцнісних характеристик, встановлені рівними: для модуля деформації  $E = 25,0$  МПа, питомого зчеплення  $C = 0,04$  МПа, кута внутрішнього тертя  $\varphi = 40^\circ$ .

Прийняті до розрахунку параметри використані при оцінці несучої здатності ґрунтової основи на ділянці монтажу кільцевого крану, призначеного для реконструкції доменної печі № 3 комбінату ПРАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ" (рис. 1).

Для перевірки можливості використання насипних ґрунтів у якості несучого шару прийняті до розрахунку деформаційні параметри і параметри міцності були закладені в осесиметричну модель навантаженої ґрунтової основи [4,5], представлену шаруватою товщею, верхня частина якої складена техногенними ґрунтами (рис. 2).

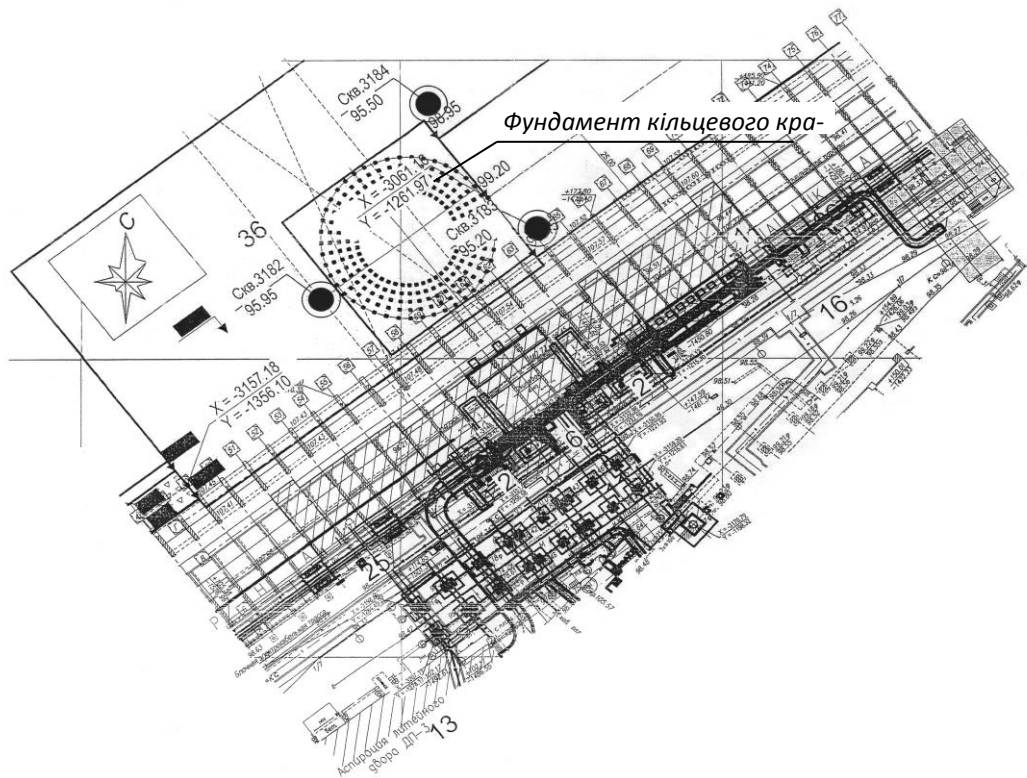


Рис. 1. Ділянка монтажу кільцевого крану для реконструкції доменної печі № 3 комбінату ПРАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ"

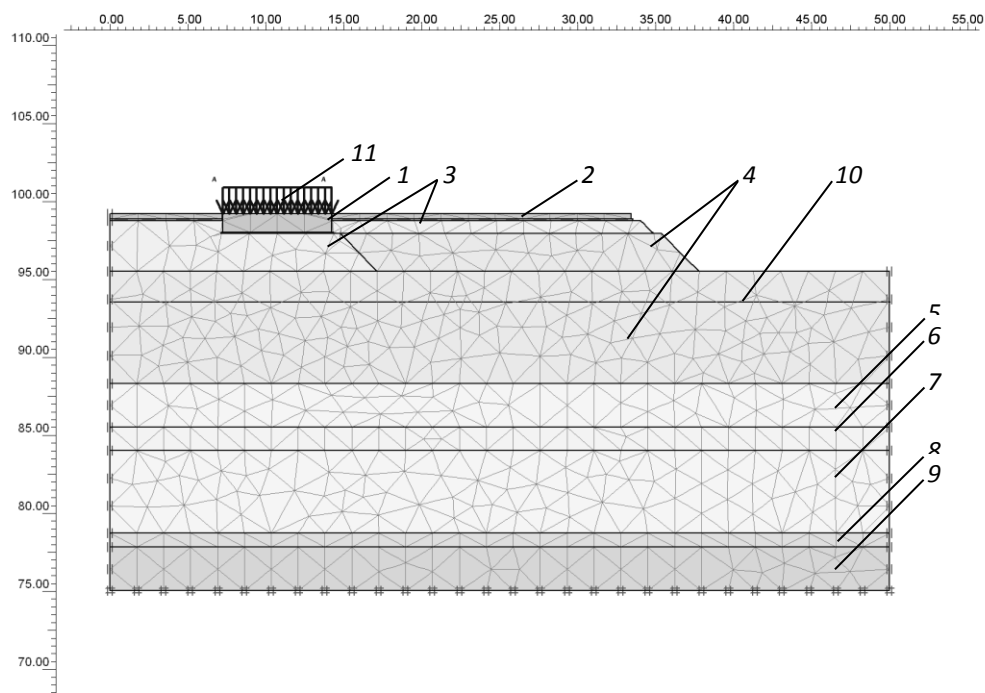


Рис. 2. Розрахункова схематизація ділянки монтажу кільцевого крану – кінцево-елементна модель, осесиметрична задача: 1,2 – фундаменти кільцевого крану і площадки монтажу; 3 – шлакова основа ("подушка"); 4 – насипний шар (металургійні шлаки); 5-9 – суглинки і супіски природного залягання; 10 – рівень ґрунтових вод; 11 – діюче навантаження від ваги кільцевого крану і елементів ДП-3

Згідно з геометричними розмірами фундаменту кільцевого крану в чисельній моделі навантаженню піддавалась радіальна смуга шириною 7,0 м на відстані 7,2 м від осі фундаменту. Діючий тиск на ґрунтову основу, визначений виходячи із загального навантаження кільцевого крану монтажними елементами ДП-3 на рівні 3600 т і площі його фундаменту 462 м<sup>2</sup>, прийнятий рівним 0,076 МПа.

Основною вимогою до ділянки монтажу кільцевого крану було обмеження допустимого перекосу його фундаменту на величину не більше ніж 0,001, тобто різниця осадок не повинна перевищувати 1 мм на 1 м ширини фундаменту. При цьому технологія експлуатації крана дозволяє за допомогою домкратів компенсувати осадки до 2,2 см.

Розрахункові значення фізико-механічних характеристик ґрунтів основи, що використовувалися в чисельних розрахунках, встановлені за даними інженерно-геологічних вишукувань і для ґрунтової товщі природного залягання характеризуються наступними діапазонами величинам: питома вага  $\gamma = 18,2\text{--}20,4$  кН/м<sup>3</sup>, модуль деформації  $E = 6,0\text{--}30,0$  МПа, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,33\text{--}0,35$ , питоме зчеплення  $C = 0,008\text{--}0,046$  МПа, кут внутрішнього тертя  $\varphi = 20,0\text{--}25,0^\circ$ .

Значення фізико-механічних характеристик шлакової основи ("подушки") встановлені за дослідними даними і рівні:  $\gamma = 22,6$  кН/м<sup>3</sup>,  $E = 35,0$  МПа,  $\nu = 0,30$ ,  $C = 0,006$  МПа,  $\varphi = 30,0^\circ$ .

Розрахункові параметри фізико-механічних властивостей бетону підготовки і фундаменту крану прийняті за довідковими даними і становлять відповідно: для бетону С8/10 –  $\gamma = 24,0$  кН/м<sup>3</sup>,  $E = 18,0 \cdot 10^3$  МПа,  $\nu = 0,25$ ,  $C = 7,5$  МПа,  $\varphi = 35,0^\circ$ ; для бетону С25/30 –  $\gamma = 25,0$  кН/м<sup>3</sup>,  $E = 32,5 \cdot 10^3$  МПа,  $\nu = 0,25$ ,  $C = 22,0$  МПа,  $\varphi = 35,0^\circ$ .

У відповідності до результатів модельних розрахунків осадка несучого шару, складеного металургійними шлаками, при навантаженні від кільцевого крану на рівні 2000 т (0,042 МПа) становить 1,4...2,0 см, а величина перекосу при ширині фундаменту крану 7,0 м не перевищує 0,0009, що задовольняє встановленим обмеженням для ділянки монтажу кільцевого крану (рис. 3).

При максимальному навантаженні кільцевого крану монтажними елементами ДП-3 на рівні 3600 т (0,076 МПа) і заданих деформаційних параметрах металургійних шлаків осадка фундаменту знаходиться в межах 2,6...3,6 см, а різниця між осадками крайніх точок кільцевого фундаменту досягає 1,0 см (рис. 4). При ширині кільцевого фундаменту 7,0 м ця різниця відповідає величині крену 0,0014, що перевищує допустиме значення 0,001, встановлене для етапу монтажу крану.

Однак, отримані результати перш за все свідчать про певну обережність в оцінках несучої здатності насипних ґрунтів, представлених металургійними шлаками, тому з урахуванням можливості технологічної компенсації осадок до 2,2 см отриману за результатами розрахунків величину перекосу при експлуатації кільцевого крану можна вважати некритичною.

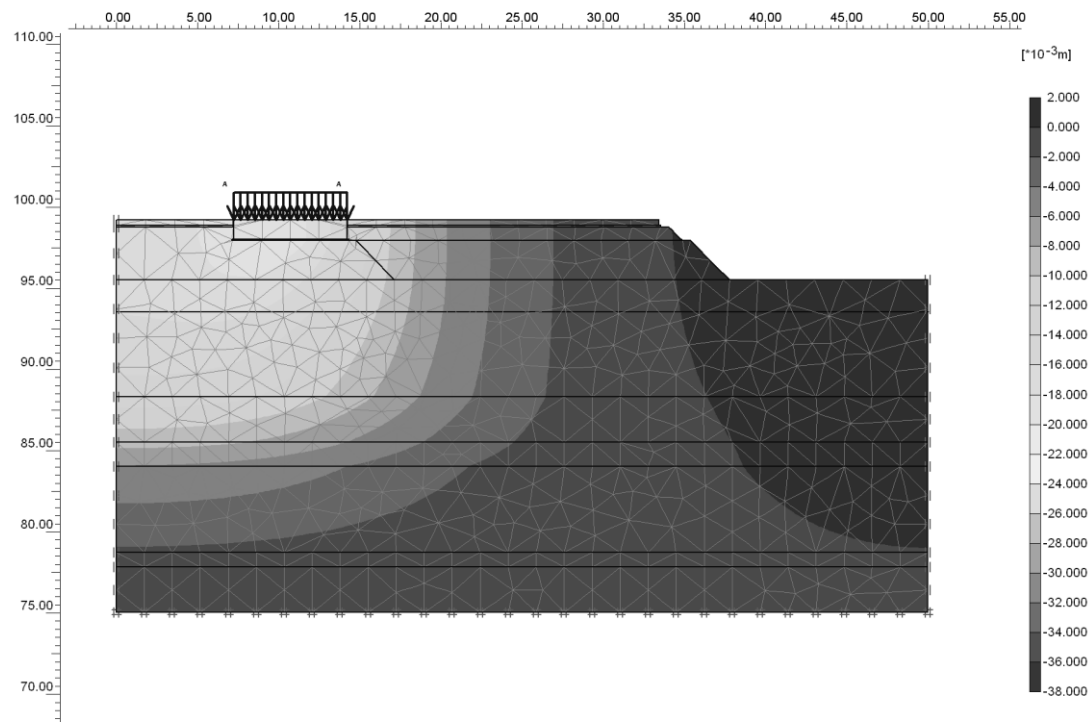


Рис. 3. Осадка фундаменту при діючому навантаженні від ваги кільцевого крану

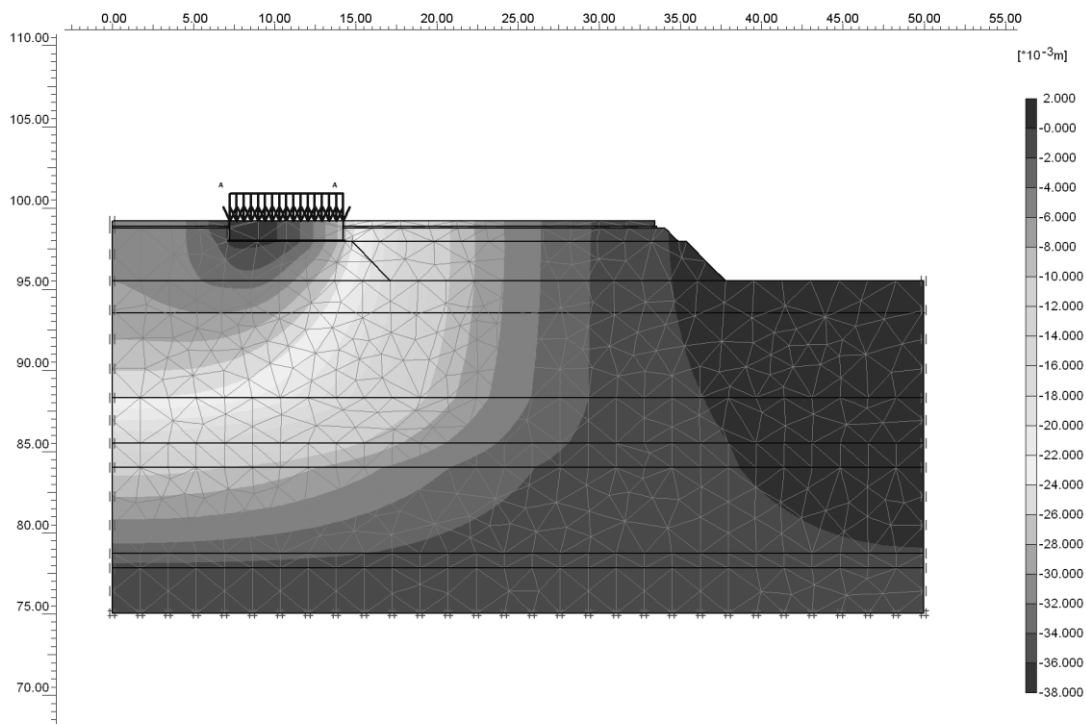


Рис. 4. Осадка фундаменту при максимальному діючому навантаженні від ваги кільцевого крану і монтажних елементів ДП-3

Це ж підтверджують і фактичні дані експлуатації кільцевого крану при реконструкції доменної печі № 3, згідно з якими при використанні насипних ґрунтів у якості несучого шару фундаменту крану не зафіксовано критичних кренів або перевищення допустимих осадок кільцевого крану. Окрім того, розглядаючи тиск від крану під навантаженням монтажними елементами ДП-3 у якості дослідного навантаження на площу фундаменту кільцевого штампу, можна вважати дані будівельні роботи свого роду унікальним експериментом щодо натурних досліджень деформаційних властивостей насипних ґрунтів, представлених металургійними шлаками.

**Висновки.** Застосування класифікаційного принципу, який базується на залежності фізико-механічних характеристик ґрунтів насипного шару від речового складу, давності відсипки, ступеня дії на насипний шар динамічних коливань, дозволяє обґрунтовано підійти до встановлення деформаційних параметрів насипних ґрунтів, що використовуються у якості несучого шару, на основі перевірки їх несучої здатності в умовах експлуатації існуючих споруд.

Можливість застосування дослідних характеристик фізико-механічних властивостей штучних ґрунтів у якості розрахункових підтверджується результатами модельних розрахунків і даними експлуатації кільцевого крану на ділянці реконструкції доменної печі № 3 комбінату ПРАТ "ЗАПОРІЖСТАЛЬ". В розглянутому випадку дослідні дані можуть розглядатися у якості результатів унікальних натурних досліджень деформаційних характеристик насипних ґрунтів, представлених металургійними шлаками.

#### Перелік посилань

1. Гольдштейн, М.Н. (1979). *Механические свойства грунтов*. Москва: Недра.
2. Лысенко, М.П. (1980). *Состав и физико-механические свойства грунтов*. Москва: Недра.
3. Головкин, В.Т., Лысая, Т.В. (2013). Критерий достоверности физико-механических свойств грунтов. *Сборник научных трудов ГВУЗ "Приднепровская академия строительства и архитектуры": Строительство, материаловедение, машиностроение*. 130-132. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmeect\\_2013\\_70\\_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmeect_2013_70_22)
4. Фадеев, А.Б. (1987). *Метод конечных элементов в геомеханике*. Москва: Недра.
5. Пустовойтенко, В.П., Тимошук, В.И. (2001). *Геотехнические процессы в неустойчивых грунтовых массивах*. Київ: Наукова думка.

#### АННОТАЦИЯ

**Цель.** Обосновать подходы к определению деформационных характеристик техногенных грунтов на основе применения известных классификационных принципов при оценке состояния насыпных грунтов и использования опыта строительства на техногенных грунтах.

**Методика исследования** заключалась в установлении деформационных характеристик металлургических шлаков на основе зависимости их физико-механических свойств от вещественного состава, давности отсыпки, степени воздействия на насыпной слой динамических колебаний. При выполнении оценки деформационных параметров насыпных грунтов, представленных металлургическими шлаками, использованы фактические данные об эксплуатации существующих сооружений на объектах аналогах. Проверка несущей способности грунтового основания, сложенного техногенными грунтами, выполнена с применением числен-

ного моделирования напряженно-деформированного состояния грунтовой толщи в условиях действующей осесимметрической нагрузки от фундамента кольцевого крана.

**Результаты исследования.** Определены общие подходы к оценке несущей способности грунтового основания, сложенного насыпными грунтами, на основе зависимости их физико-механических характеристик от вещественного состава, давности отсыпки, степени воздействия на насыпной слой динамических колебаний. По результатам выполненных оценок установлены деформационные характеристики металлургических шлаков, которые рекомендованы в качестве несущего слоя на участке монтажа кольцевого крана для реконструкции доменной печи ЧАО "ЗАПОРОЖСТАЛЬ". Возможность применения опытных характеристик физико-механических свойств искусственных грунтов в качестве расчетных подтверждена результатами модельных расчетов несущей способности грунтовой основы и данными эксплуатации кольцевого крана.

**Научная новизна.** Экспериментально подтверждена возможность использования деформационных характеристик техногенных грунтов, установленных на основе применения известных классификационных принципов при оценке состояния насыпных грунтов и использования опыта строительства на техногенных грунтах.

**Практическое значение.** Результаты исследования позволяют при отсутствии возможности или ограничений прямой оценки физико-механических характеристик насыпных грунтов, составленных металлургическими шлаками, обоснованно подойти к установлению их деформационных параметров на основе данных проверки несущей способности грунтового основания в условиях эксплуатации существующих сооружений.

**Ключевые слова:** *грунтовой массив, насыпные грунты, металлургические шлаки, деформационные свойства, оценка несущей способности*

## **ABSTRACT**

**Purpose.** To substantiate approaches to the determination of deformation characteristics of artificial soils on the basis of the application of known classification principles in assessing the state of fill-up soils and using the experience of construction on artificial soils.

**The method** of investigation consists in determining the metallurgical slags deformation characteristics on the basis of the dependence of their physical and mechanical properties on the material composition; the dumping term; the degree of dynamic vibration impact on the fill-up layer. Actual data of the existing constructions operation at analogue facilities are used in the deformation parameters evaluation of fill-up soils, represented by metallurgical slags. Bearing capacity verification of the soil foundation, composed of technogenic soils, was carried out using the numerical simulation of the stress-strain state of the soil strata under the axisymmetric load impact of the ring crane foundation.

**Results of the research.** General approaches to the bearing capacity assessment of the soil foundation composed of fill-up soils are determined on the basis of the dependence of physical and mechanical characteristics of soils on the material composition; the dumping term; the degree of dynamic vibration impact on the fill-up layer. The deformation characteristics of metallurgical slags recommended as a bearing layer at the installation site of ring crane for the reconstruction of the blast furnace of "ZAPOROZHSTAL" combine are defined based on the results of performed evaluations. The possibility of applying the experimental characteristics of the physical and mechanical



properties of artificial soils as calculated ones is confirmed by the results of bearing capacity simulation of the soil foundation and operating data of the ring crane.

**Scientific novelty.** The possibility of using the deformation characteristics of artificial soils has been confirmed experimentally on the basis of applying known classification principles in assessing the state of fill-up soils and using the experience of construction on artificial soils.

**Practical importance.** The results of the study allow implementing a justified approach to determining the deformation parameters of fill-up soils composed by metallurgical slags on the basis of bearing capacity verification of the soil foundation in conditions of existing structures operation if there is no or limited possibility to directly evaluate their physical and mechanical characteristics.

**Keywords:** *soil mass, fill-up soils, metallurgical slags, deformation properties, bearing capacity assessment*

УДК 622.268.2

© О.В. Халимендик, М.О. Вигодін, О.В. Солодянкін

## ТЕХНОЛОГІЯ ЗАПОВНЕННЯ ЗАКРІПНОГО ПРОСТОРУ ДЕМПФЕРНИМ ЗАБУЧУВАННЯМ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК

© O. Khalymendyk, M. Vigodin, O. Solodiankin

## TECHNOLOGY OF CREATING A BACKFILL BETWEEN THE SUPPORT AND ROCK CONTOUR IN THE CONSTRUCTION OF MINE WORKINGS

**Мета.** Удосконалення способу забучування закріпного простору гірничої виробки шляхом використання подрібненої породи від проведення гірничих виробок без її видачі на поверхню при підвищенні якості, механізації і рівня безпеки виконання робіт, а також рівномірного розподілення навантаження на кріплення.

**Методика дослідження** полягає у використанні комплексного підходу, що включає аналіз і узагальнення результатів теоретичних та експериментальних досліджень, існуючого світового та вітчизняного практичного досвіду.

**Результати дослідження.** Виконаний аналіз існуючих способів заповнення закріпного простору гірничих виробок вугільних шахт. Розроблено схему використання подрібнених вуглевмісних порід для заповнення закріпного простору гірничих виробок з метою створення демпферного забучування в системі «кріплення – масив». Запропоновано варіанти реалізації розробленої схеми. Технічне рішення за даним способом заповнення простору між кріпленням гірничої виробки і породним масивом створює наступні можливості: спрощення технологічного регламенту робіт із забучування; підвищення якості, механізації робіт і рівня безпеки; розвантаження кріплення підпорного типу від переміщень більше 0,2 м та гірського тиску здатного порушити цілісність конструкції підпірного кріплення; рівномірного розподілення навантаження на кріплення; заповнення пустот між кріпленням та породним контуром; зниження вартості гірничо-прохідницьких робіт шляхом використання породи від про-